

全国中等职业技术学校仪器仪表类通用教材

常用电工电子仪器仪表 使用与维护

(第二版)



30.7-43
(2)



中国劳动社会保障出版社

567

711.730.7-43

L21(2)

全国中等职业技术学校仪器仪表类通用教材

常用电工电子仪器仪表使用与维护

(第二版)

劳动和社会保障部教材办公室组织编写



A1024300

中国劳动社会保障出版社

版权所有

翻印必究

中等职业技术学校仪器仪表类通用教材《常用电工电子仪器仪表使用与维护》自出版以来,受到了读者的好评。近年来,测量技术的发展十分迅速,随之出现了许多新型的电工电子仪器仪表。为了适应这一发展,我们对《常用电工电子仪器仪表使用与维护》进行了修订。

《常用电工电子仪器仪表使用与维护》(第二版)的主要内容有:测量与计量、电流与电压的测量、电参数的测量、功率与电能的测量、频率与时间的测量、万用表、示波器及其功能的扩展、信号发生器以及电子测量技术的新发展等。同时结合有关知识安排了一些实验和练习题。本书内容浅显易懂,实用性强,并附有大量插图。

本书也可作为职工培训教材。

本书由江苏省泰州技师学院邵展图、臧大进、刘扬、吴厚云编写,邵展图主编;韩承江、叶钰、许雪贵审稿,韩承江主审。

图书在版编目(CIP)数据

常用电工电子仪器仪表使用与维护/邵展图主编. —2版. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2002

ISBN 7-5045-3532-X

I. 常...

II. 邵...

III. ①电工仪表—技工学校—教材 ②电子仪器—技工学校—教材

IV. TM930.7

中国版本图书馆CIP数据核字(2002)第024771号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街1号 邮政编码:100029)

出版人:张梦欣

*

北京京安印刷厂印刷 新华书店经销

787毫米×1092毫米 16开本 13.75印张 340千字

2002年6月第2版 2002年6月第1次印刷

印数:3000册

定价:19.00元

读者服务部电话:64929211

发行部电话:64911190

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

目 录

绪论	(1)
第一章 测量与计量	(3)
§ 1—1 测量方法与测量误差	(3)
§ 1—2 误差分析与数据处理	(6)
§ 1—3 计量与标准	(9)
练习与思考题	(12)
第二章 电流与电压的测量	(14)
§ 2—1 磁电系电流表和电压表	(14)
§ 2—2 电磁系电流表和电压表	(19)
§ 2—3 仪用互感器与钳形电流表	(22)
§ 2—4 电子电压表	(27)
§ 2—5 直流电位差计	(35)
§ 2—6 非正弦交流电压的测量	(37)
练习与思考题	(39)
实验 2—1 电流表、电压表的使用	(40)
实验 2—2 毫伏表的使用	(41)
实验 2—3 直流稳压电源纹波系数的测量	(42)
实验 2—4 直流电位差计的使用	(43)
第三章 电参数的测量	(44)
§ 3—1 电桥	(44)
§ 3—2 数字毫欧表	(56)
§ 3—3 兆欧表	(58)
§ 3—4 接地电阻的测量	(63)
§ 3—5 谐振法测量电容、电感和 Q 值	(66)
练习与思考题	(72)
实验 3—1 QJ23 型直流单臂电桥的使用	(74)
实验 3—2 QS18A 型万用阻抗电桥的使用	(74)

实验 3—3 QBG-3 型 Q 表的使用	(75)
-----------------------------	--------

第四章 功率与电能的测量	(76)
§ 4—1 功率的测量	(76)
§ 4—2 三相有功功率的测量	(82)
§ 4—3 三相无功功率的测量	(85)
§ 4—4 电能的测量	(87)
§ 4—5 电子式功率电能表	(93)
§ 4—6 功率因数的测量	(98)
练习与思考题	(100)
实验 4—1 功率表的使用	(101)
实验 4—2 电能表的接线	(102)
实验 4—3 功率因数的测量	(103)

第五章 频率与时间的测量	(105)
§ 5—1 测量频率的方法	(105)
§ 5—2 电子计数器	(106)
§ 5—3 E312A 型通用计数器	(112)
§ 5—4 数字式转速表	(118)
练习与思考题	(119)
实验 电子计数器的使用	(120)

第六章 万用表	(121)
§ 6—1 模拟式万用表的结构与原理	(121)
§ 6—2 模拟式万用表的使用与维护	(126)
§ 6—3 模拟式万用表常见故障检修	(130)
§ 6—4 数字式万用表的结构与原理	(131)
§ 6—5 数字式万用表的使用	(134)
§ 6—6 数字式万用表常见故障检修	(139)
练习与思考题	(140)
实验 6—1 模拟式万用表的使用	(141)
实验 6—2 数字式万用表的使用	(142)

第七章 示波器及其功能的扩展	(143)
§ 7—1 示波管与波形显示原理	(143)
§ 7—2 通用示波器	(145)
§ 7—3 晶体管特性图示仪	(161)

§ 7—4 频率特性测试仪·····	(170)
练习与思考题·····	(177)
实验 7—1 示波器的使用·····	(179)
实验 7—2 示波器的应用·····	(179)
实验 7—3 晶体管特性图示仪的应用·····	(181)
实验 7—4 BT-3 型频率特性仪的应用·····	(182)
第八章 信号发生器 ·····	(183)
§ 8—1 低频信号发生器·····	(183)
§ 8—2 高频信号发生器·····	(186)
§ 8—3 脉冲信号发生器·····	(191)
§ 8—4 合成信号发生器·····	(194)
§ 8—5 函数信号发生器·····	(196)
练习与思考题·····	(197)
实验 8—1 低频信号发生器的应用·····	(198)
实验 8—2 脉冲信号发生器的应用·····	(199)
第九章 电子测量技术的新发展 ·····	(200)
§ 9—1 智能仪器与个人仪器·····	(200)
§ 9—2 自动测试系统·····	(202)
练习与思考题·····	(204)
附录 1 电工仪表标志符号·····	(205)
附录 2 常用电工仪表类、组代号·····	(208)
附录 3 国际单位制·····	(211)
参考资料·····	(213)

绪 论

一、电工电子仪器仪表概述

电工电子仪器仪表是电工仪表和电子仪器的总称。

电工仪表通常是指利用电磁力使指针偏转进行电工测量的仪表,也就是能把被测量转换为仪表指针机械角位移的一种电-机转换模拟式仪表。电工仪表的主要测量对象是直流信号及工频(50 Hz)交流信号。

电子仪器是指以电子技术为依据,利用电子器件所组成的测量装置。主要用于测量各种电磁参数、电子元器件和电子线路性能以及产生供测量用的电信号。

传统的模拟式电工仪表大多采用机械结构,因此造价较低,温度稳定性高。但是要使指针偏转必须消耗足够的功率,所以灵敏度不高。其他性能指标,如精确度、频率范围、测量速度等也都比不上电子仪器。

电子仪器测量频率范围宽,量程广,测量速度快,精确度高。如果将电子仪器配上适当的传感器,可以测量多种非电量,还可以实现远距离测量。电子仪器经过数字化处理后,可以很容易地和计算机结合,有利于实现测量的自动化和智能化。在现代化科研和生产中,许多精确度要求较高的测量都是运用电子仪器来完成的。

实际上,电工仪表和电子仪器并没有严格的界限。电子仪器就是在电工仪表的基础上发展起来的,因此,它们在组成结构上有着紧密的联系,在应用领域也存在相互交叉的情况。例如常用的晶体管毫伏表,就是将高频交流流量经放大整流后成为直流量,再用表针指示。随着电子技术的发展,各种新型数字式电子仪器不断涌现,并已广泛应用于日常电工测量中。

二、电工电子仪器仪表的发展

电工仪表历史悠久、技术成熟,因此在相当长的时期内,原理上并没有多少突破,但在结构、造型和精度上均不断有所改进。

电子仪器虽然出现较晚,发展更新却十分迅速。在组成器件上,电子仪器经历了电子管—晶体管—集成电路的发展过程,而且在原理上出现了两次突破。一是数字化,就是将被测信号通过模数转换变为数字信号,再经电路处理最后由数码管直接显示测量值。另外,还可将数字信号存储起来,需要时再重现。数字式仪器不仅精度高、灵敏度高,而且输入阻抗高,操作简便,读数直观,测量速度快,抗干扰能力强。电子仪器发展中的第二次突破是智能化,就是仪器本身能自动完成某些操作,如自动校正、自动转换量程、自动更换测量项目等。更高级的智能仪器还有自动诊断故障、自动排除故障等功能。将多台仪器组合起来,由计算机统一指挥,这就出现了自动测试系统。与此同时,还出现了所谓个人仪器,就是把仪器测量部分制成插板,然后插在个人计算机上,由计算机控制进行测量。如果采用多种仪器插件,则可构成一种新的测试系统——个人仪器系统。这种系统的费用只有原系统的 $1/3 \sim 1/10$,体积也大为减小。这些突出的优点使得个人仪器具有很强的生命力。

三、学习本课程的要求及方法

本课程的主要内容是常用电工电子仪器仪表的结构、原理、使用及维护。通过本课程的学习,要求学生能掌握正确使用和维护常用电工电子仪器仪表的基本知识和技能。

电工电子仪器仪表种类繁多,学习中,应紧紧抓住最基本的测量原理和测量方法,熟练掌握一些最常用的仪器仪表的结构、原理、使用及维护方法,并以此作为进一步学习其他仪器仪表的基础。要善于运用分析比较的方法,找出各种仪器仪表之间的相同点和不同点。例如模拟式仪器仪表和数字式仪器仪表,它们的主要区别只在于输出或显示的表现形式不同,而工作原理是相似的,都是以同一测量机构(或基本电压表)为基础,配合各种测量线路来完成多种项目、多种量程的测量。又如,在学习了示波器后,对通用示波器已有所了解,当以后再学习到扫频仪、晶体管特性图示仪等采用示波管显示的仪器时,就要能运用有关示波器的知识举一反三,这样学习效率就大大提高了。

本课程实践性很强,为了巩固所学知识,掌握实际操作技能,应充分重视教材安排的实验内容以及电工电子仪器仪表在相关专业课和生产实习中的应用。

本书对各种仪器仪表的介绍力求简明,主要就原理框图作概括性说明,对具体的仪器电路只着重介绍那些与测量原理和使用方法密切相关的部分,而不拘泥于对仪器整机电路的一般讨论。本书练习题减少了叙述和计算的内容,增加了技能训练的内容,在学习中应予以足够重视。

测量技术的发展十分迅速。通过本课程的学习,不仅要掌握常用电工电子仪器仪表的使用与维护方法,还要在实践中不断提高自己分析问题和解决问题的能力。只有这样,才能学好本课程,也才能为今后掌握更多的测量新知识、新仪器打下必要的基础。

第一章

测量与计量

§ 1—1 测量方法与测量误差

一、测量

测量是以确定量值为目的的操作。在这一过程中常借助专门的设备,将被测量与选作单位的同类量进行比较,从而取得用数值和单位共同表示的测量结果。例如用温度计去测温度、用秤去称物体的质量、用电流表去测电流的大小等。

二、测量方法

为了取得准确的测量结果,必须合理选择测量仪器和测量方法。对于各种测量方法,可以从不同角度进行分类。

1. 按测量结果的获取方法分类

(1) 直接测量法 直接测量是指不必对与被测量有函数关系的其他量进行测量就能直接得到被测量值的测量方法。例如用等臂天平测量质量、用电压表测量电压、用数字频率表测量频率等都属于直接测量。直接测量法具有操作简便、读数迅速等优点,但是它的准确度除受到仪表基本误差的限制外,还由于仪表接入被测电路后,仪表的内阻会使电路的工作状态发生变化,因而准确度较低。

(2) 比较测量法 比较测量法是将被测测量与度量器在比较仪器中进行比较的测量方法。比较测量法又可分为3种。

1) 零位测量法 又称指零法或平衡法。它是通过调整一个或几个与被测量有已知平衡关系的(或已知其值的)量,用平衡法确定被测测量值的测量方法。例如用电桥和指零仪测量阻抗。

2) 微差测量法 它是将被测量与同它的量值只有微小差别的同类已知量相比较,并测出这两个量值间的差值以确定被测测量值的测量方法。例如标准电池的相互比较就是采用这种方法。

3) 替代测量法 它是将选定的且已知其值的量替代被测测量,使在指示装置上得到相同效应以确定被测测量值的测量方法。

比较测量法的优点是准确度和灵敏度都较高,缺点是设备复杂、操作麻烦,一般用于精密测量。

(3) 间接测量法 间接测量法是指通过对与被测量有函数关系的其他量进行测量才能得到被测测量值的测量方法。例如通过测量液柱高度来测量大气压;先用电压表和电流表测出电

阻两端电压和流过电阻的电流，再用欧姆定律算出电阻值等都属于间接测量。间接测量法的误差比直接测量法的误差大。

2. 按被测量的性质分类

(1) 时域测量法 时域测量法用于测量交流电压、交流电流等随时间变化的量。对其稳态值、有效值，可用电压表、电流表等测量；对其瞬时值，可通过示波器显示其随时间变化的规律。

(2) 频域测量法 频域测量法主要用于测量放大电路的增益、相移以及网络的频率特性等。通过频域测量得出其频率特性或频谱特性曲线，用以分析被测量与频率的关系。

(3) 数据域测量法 这是指对数字量进行的测量。用具有多个输入通道的逻辑分析仪，可同时观测许多单次并行的数据。例如可以观测微处理器地址线、数据线上的信号，既可显示时序波形，也可以用“0”“1”显示其逻辑状态。

三、测量误差

任何物理量必然存在一个真实的数值，这个数值称为真值。这是在研究某物理量时所处条件下严密定义的量值，只是一个理想的概念，一般说来是不可能准确知道的。一切测量的目的都是为了尽可能准确可靠地获得真值。但由于人们对客观规律认识的局限性，测量工具的不准确，测量手段的不完善，以及测量过程中可能出现的疏忽和失误，都会使测量值与真值不同。测量值与被测量真值的差别就是测量误差。

四、误差的表示方法

1. 绝对误差

设被测量的真值为 A_0 ，测量仪器的示值为 x ，则绝对误差为

$$\Delta x = x - A_0 \quad (1-1)$$

由于真值 A_0 一般无法确定，故常用高一标准仪器测量的示值 A 代替真值 A_0 ，称为约定真值。这样，绝对误差又可表示为

$$\Delta x = x - A \quad (1-2)$$

与绝对误差大小相等、符号相反的量，称为修正值，用 C 表示，即

$$C = -\Delta x = A - x \quad (1-3)$$

如果本仪器测出一系列 x ，上级仪器测出一系列 A ，则计算可得一系列 C ，从而可画出一条修正曲线或以表格、公式的形式表示出来。在自动测量仪器中，修正值还可以编成程序存储在仪器中，测量时可对测量结果自动进行修正。

由式 (1-3) 可知，利用示值与修正值相加，即可得被测量的实际值。

$$A = x + C \quad (1-4)$$

例如，用电流计测量电流的示值 $x = 4.5 \text{ A}$ ，根据曲线在 4.5 A 处的修正值 $C = 0.020 \text{ A}$ ，则实际值

$$A = x + C = 4.5 \text{ A} + 0.020 \text{ A} = 4.520 \text{ A}$$

2. 相对误差

仅仅用绝对误差常常并不能说明测量的准确程度。例如测量两个频率，其中一个频率 $f_1 = 1000 \text{ Hz}$ ，其绝对误差 $\Delta f_1 = 1 \text{ Hz}$ ；另一个频率 $f_2 = 100000 \text{ Hz}$ ，其绝对误差 $\Delta f_2 = 10 \text{ Hz}$ 。尽管 $\Delta f_2 > \Delta f_1$ ，但并不能因此得出 f_1 的测量比 f_2 准确的结论。恰恰相反， f_1 的测量误差对 $f_1 = 1000 \text{ Hz}$ 来说占 0.1% ，而 f_2 的测量误差仅占 $f_2 = 100000 \text{ Hz}$ 的 0.01% 。为了弥补

绝对误差反映测量准确性的不足，又引入了相对误差的概念。

相对误差是绝对误差与真值（或约定真值）的比值，通常用百分数表示。

(1) 实际相对误差 γ_A 绝对误差与实际值之比称为实际相对误差，用 γ_A 表示

$$\gamma_A = \frac{\Delta x}{A} \times 100\% \quad (1-5)$$

(2) 示值相对误差 γ_x 绝对误差与本仪器的示值之比称为示值相对误差（又称标称相对误差），用 γ_x 表示

$$\gamma_x = \frac{\Delta x}{x} \times 100\% \quad (1-6)$$

(3) 满度相对误差 γ_m 用实际相对误差或示值相对误差可以较好地反映某次测量的准确程度，但是在连续标度的仪表中，用以上两种方式表示整个量程中仪表的准确度并不合适。为此，规定绝对误差与仪表的满度值 x_m 之比为满度相对误差，用 γ_m 表示

$$\gamma_m = \frac{\Delta x}{x_m} \times 100\% \quad (1-7)$$

满度相对误差又称引用误差。目前，我国电测指示仪表的准确度根据引用误差的大小共分 8 个等级：0.05、0.1、0.2、0.5、1.0、1.5、2.5、5.0，分别表示它们的引用误差所不超过的百分比。例如，1.5 级的电表，就表明其 $\gamma_m \leq \pm 1.5\%$ 。

例 1-1 选择准确度为 0.5 级，量程为 300 V 的电压表，分别测量 50 V 和 300 V 的电压，其最大相对误差各为多少？

解 先求该表的最大绝对误差

$$\Delta U = \pm 0.5\% \times 300 \text{ V} = \pm 1.5 \text{ V}$$

测量 50 V 电压时，最大相对误差为

$$\gamma_{m1} = \frac{\Delta U}{U_1} \times 100\% = \frac{\pm 1.5 \text{ V}}{50 \text{ V}} \times 100\% = \pm 3\%$$

测量 300 V 电压时，最大相对误差为

$$\gamma_{m2} = \frac{\Delta U}{U_2} \times 100\% = \frac{\pm 1.5 \text{ V}}{300 \text{ V}} \times 100\% = \pm 0.5\%$$

由以上结果可以看出，在一般情况下，测量结果的准确度（即最大相对误差）并不等于仪表的准确度，只有当被测量恰好等于仪表量程时，二者才会相等。为保证测量结果的准确性，不仅要考虑仪表的准确度，还要选择合适的量程，尽量使指针示值范围在仪表满度值的 2/3 以上。例如，测量 380 V 电压时，应选用 450 V 的电压表；测量 220 V 电压时，应选用 250 V 的电压表。

3. 误差极限

误差极限又称最大允许误差，它是由相关标准、技术规范等所规定的仪器仪表误差的极限。一般仪器技术说明书上所标明的误差即指误差极限。

误差极限既可采用绝对误差，也可采用各种相对误差，或者用二者结合起来表示。

误差极限是指某一类仪器不应超出的误差最大范围，并不是指某一台确定仪器的实际误差。

一般仪器仪表的误差有以下 4 种。

(1) 固有误差（又称基本误差）是在规定的一组影响量（如环境温度、湿度、时间、

辅助电源频率、电磁场影响等)的基准条件下给出的误差。

(2) 影响误差(又称附加误差) 是当一个影响量在额定使用范围内任取一值,而其他影响量均处于基准条件时所测得的误差。

(3) 工作误差 是在额定工作条件下的仪器误差极限。

(4) 稳定误差 是仪器的标称值在其他影响量保持恒定的情况下,于规定时间内所产生的误差极限。

§ 1—2 误差分析与数据处理

一、测量误差的分类与特性

根据误差的性质和特点,测量误差可分为系统误差、随机误差和粗大误差3类。

1. 系统误差

是指在对同一被测量的多次测量过程中,绝对值和符号保持恒定,或在条件改变时按某种确定规律变化的误差。例如仪表标度的偏差,使用时仪器零点未调准,温度、湿度、电源电压变化,测量方法不当等造成的误差便属于系统误差。

系统误差的特点是,测量条件一经确定,误差即为一确定数值。用多次测量取平均值的方法并不能改变误差的大小。造成系统误差的原因很多,但也是有规律可循的。例如对零点不准的仪器可重新调零;对受温度影响的物理量,可在大量测量反复分析的基础上得出经验公式对测量值进行修正,或采取相应的技术措施等,都可消除或减小系统误差。

2. 随机误差

是指在对同一被测量的多次测量过程中,绝对值和符号都以不确定方式变化的误差。每一次出现的误差都是偶然的,没有复现性,因此随机误差也称偶然误差。

随机误差是由那些对测量值影响微小,又互不相关的多种因素共同造成的。例如温度及电源电压的频繁波动,测量仪器元器件的噪声,电磁场干扰和测量人员感觉器官的偶然变化等等。

一次测量的随机误差没有规律,也无法控制,但足够多次重复测量所出现的随机误差服从统计规律,因此可以通过对多次测量值取算术平均值的方法来减小随机误差对测量结果的影响。

3. 粗大误差

是指在对同一被测量的多次测量过程中,测量值明显偏离实际值所形成的误差。粗大误差产生的原因可能是由于错误操作、仪器的不稳定乃至故障、测量条件的突然变化(如电网电压波动、强磁场、强振动等)引起仪器示值的明显偏差。

由于粗大误差是在不正常的情况下出现的,测量数据误差大,甚至是错误的,因此粗大误差也称为差错。这样的测量数据(称为坏值)应剔除不用。如果确认误差是由于仪器发生故障而引起的,则应对有故障的仪器进行检修和校正。

对上述3类不同性质的误差要用不同的方法处理。除粗大误差外,系统误差和随机误差大多同时存在于测量结果中,如经过分析发现系统误差大于随机误差,按系统误差处理方式处理,如加修正值等,反之按随机误差处理方式处理。两者影响相近时,则要分别进行误差

处理。

二、处理系统误差的一般方法

测量误差是多种误差因素共同作用的结果。随机误差可在大量测量后取平均值消除，关键是要消除系统误差。对于系统误差的来源必须认真分析，采取相应措施，以减小误差对测量结果的影响。

1. 仪器误差

即仪器的基本误差。这是由于测量仪器及其附件本身不完善而引起的误差。例如电桥中的标准电阻、示波器的探头等都含有误差。仪器零位偏移、标度不准以及非线性等引起的误差均属仪器误差。可通过在测量结果上加修正值（包括利用修正公式或修正曲线）来进行修正。

2. 使用误差

又称操作误差或安装误差。这是由于在使用仪表过程中未严格遵守操作规程而引起的误差。例如，将按规定应水平放置的仪表垂直安放、仪表接地不良、测试引线太长、未考虑阻抗匹配以及仪器操作方法不当等，都会产生使用误差。为了避免使用误差，必须严格遵守仪表安装工艺和操作规程。

3. 影响误差

这是由于各种环境因素与要求条件不一致所造成的误差。例如温度、湿度、电源电压、电磁场影响等所引起的误差。为了克服这种误差，应注意仪器设备使用的环境条件。要求严格时，测量应在恒温、恒湿和电磁屏蔽的专门实验室中进行。一般情况下可对测试设备进行环境测试，确定多种外界因素的影响程度，从而对测量结果进行适当的修正。

4. 人员误差

这是由测量者的分辨能力、固有习惯、心理、工作态度等因素引起的误差。这说明测量人员要经过严格训练，熟练掌握操作技能，并要养成专心致志、一丝不苟的工作作风。

5. 方法误差

由于测量方法不合理或采用的近似公式不当所造成的误差称为方法误差或理论误差。例如用普通万用表测量电路中高阻值电阻两端的电压，由于万用表电压挡内阻不高形成分流作用而引起的误差即为方法误差。对方法误差，可通过理论分析来进行修正，或采用更科学的测量方法来消除。

三、测量结果的评定

对测量结果的评定，常采用正确度、精密度和精确度等参数。

1. 正确度

指测量值与真值接近的程度，反映系统误差的影响。

2. 精密度

指测量值相互之间接近的程度，反映随机误差的影响。

3. 精确度

或称准确度，有时也简称精度。反映系统误差与随机误差综合影响的程度，精确度高，表明测量结果既精密又正确。

以打靶为例，如果10发子弹密集地打中靶子但偏离靶心，称为精密度高，正确度低；10发子弹均中靶但分散在靶心四周，称为精密度低，正确度高；10发子弹密集地打中靶心，则精密度、正确度都高，也就是说精确度高。参数测量也是如此，多次测量数据很接近称为

精密度高,如果这些数据又都接近真值,则正确度也高,称为高精度测量。

四、测量结果的数据处理

测量获得大量数据后,如何处理这些数据以减小误差并得出最佳的数据结论,这是测量工作中最后的也是最重要的一项任务。数据处理包括数据整理、计算和分析等工作,有时还要把数据制成表格或图形,最后归纳出经验公式。

1. 有效数字的正确表示

由于测量过程中不可避免地存在误差,同时,计算时还经常用到 π 、 $\sqrt{2}$ 等无理数,它们只能取近似值,所以最终数据总是近似的。测量结果的位数不必太多,也不宜太少,应取得适当,这就提出了有效数字的问题。

有效数字是那些能够正确反映测量准确度的数字,是指从一个数据左起第一个非零数字开始,直到最右边的一个数字(包括“0”在内)。有效数字的最末一位是近似数字,它可以是测量中估计读出的近似数字,也可以是按规定修正后的近似数字。

有效数字的位数是根据所使用的测量仪器的准确度来确定的。例如,已知某仪器测量误差为 ± 0.005 V,电压测量值为3.851 V,则应取3.85 V,即取3位有效数字。通常作测量记录时,每一个数据只能最末一位数字是估计读数,而其他各位数字都必须是准确可靠的。

数字“0”在数据中可能是有效数字,也可能不是有效数字。例如0.030 80 MHz,3前面的两个“0”不是有效数字,中间及末尾的“0”都是有效数字。若换成另一单位,变换为30.80 kHz,前面的“0”就不起作用了。数字末尾的“0”很重要。例如,30.8的有效数字3位,表示测量结果精确到十分位;30.80的有效数字4位,表示测量结果精确到百分位。

2. 测量数据的舍入规则

由于测量数据是近似值,在计算中为了保留规定的位数,需要对多余的位数进行舍入处理。常用的“四舍五入”规则是不合理的,因为5是1~9的中间数字,也应该有舍有入才能平衡。所以在测量技术中规定:小于5舍,大于5入,等于5时采取偶数法则。也就是说,以保留数字的末位为基准,它后面的数字大于5时,末位数字加1,小于5时舍去;恰好等于5时,若5后有非0数字,则5可以进位;若5后为0,则将末位凑成偶数(即末位原为奇数时加1,原为偶数时不加)。为了帮助记忆,归纳成如下口诀:

4舍6入5待定,
5后非0则可进,
5后为0前位定,
偶则舍去奇则进。

例如,将下列数字保留3位:

13.844→13.8 (因为4<5)
13.864→13.9 (因为6>5)
13.851→13.9 (因为5后非0)
13.850→13.8 (因为8是偶数,5舍)
13.750→13.8 (因为7是奇数,5入)

这样的舍入规则虽然麻烦,但对于高精度测量数据的处理是必要的。当舍入次数足够多

时, 末位数字为奇或偶的概率相同, 故入和舍的概率也相同, 从而可使舍入误差基本抵消。

3. 测量结果运算时的误差处理

这是间接测量时的一个重要问题。通常简单的方法是在进行四则运算时, 按误差的最高位数确定, 而运算结果的位数按参加运算各数中的最低有效数字确定。例如, $3.81 + 2.102 = 5.912$, 取 5.91, $3.81 + 2.106 = 5.916$, 取 5.92, $5.325 \div 2.1 = 2.53571$, 因为除数仅 2 位, 结果取 2.5 即可。

但有两种情况需要特别注意。

一种情况是当数值相近的两数相减, 再作为除数, 此时位数的多少对结果影响很大, 运算数据应多取几位数字, 不得轻易舍入。

另一种情况是当指数的底远大于 1 或远小于 1 时, 指数的位数对结果影响很大, 指数值不得轻易舍入, 应多取几位参与运算, 获得结果后再定位数。

4. 测量结果的图解分析

测量结果除用数据表示外, 还经常使用各种曲线, 即将被测量随某一个或几个因素变化的规律用相应的曲线表示。

曲线有多种作法, 一是将所有测试点相连, 成一条折线, 但这条折线不易反映变化规律。二是将相近数据每 2~4 个分为一组, 求出其几何中心点, 再将这些点连接起来。由于进行数据平均, 在一定程度上减轻了随机误差的影响, 使曲线趋于平滑, 可以比较准确地反映实际情况, 如图 1-1 所示。

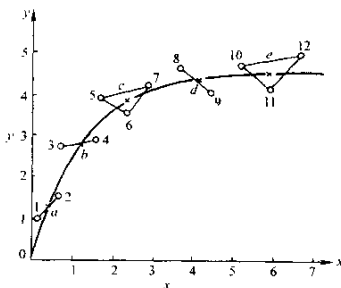


图 1-1 用分组平均法修匀曲线

通过对曲线的分析, 可归纳出反映各物理量之间关系的经验公式。实际应用中有时并不需要公式, 根据相关曲线同样能解决问题。

§ 1-3 计量与标准

为了保证测量的统一和准确, 就要涉及计量及其基准、标准的建立和计量器具的应用问题。

一、计量

计量是测量的一种特殊形式, 它是指测量仪器与国家计量部门的基准或标准设备进行对比, 从而确定其准确度的过程。它的主要特征是统一性、准确性和法制性。国家计量部门不仅解决技术问题, 而且依靠行政手段对各种物理量的测量方法和标准作出规定, 成为技术部门必须遵守的法规。

二、计量器具

凡能用以直接或间接测出被测对象量值的量具、计量仪器和计量装置统称为计量器具。计量器具按用途可分为计量基准、计量标准和工用计量器具 3 类。

1. 计量基准

计量基准是指用当代最先进的科学技术及工艺建立起来的,用来规定、保持和复现某物理量单位量值且具有最高准确度和稳定性的计量器具。例如米尺基准是用热膨胀系数极小的铂制成的米尺,并且保存在恒温设备中;时间基准采用周期十分准确的铯原子钟等。

一般将计量基准分为3级。

(1) 主基准 又称国家基准。它是用来保存和复现计量单位,具有当代科学技术所能达到的最高准确度的计量器具,经国家鉴定和批准,作为统一全国计量单位量值的最高依据。

(2) 副基准 又称次基准或二级基准。用以代替主基准向下一级测量仪器提供标准,传递量值。

(3) 工作基准 它用来直接向下一级测量仪器传递量值。设立工作基准的目的是不使国家基准或副基准由于使用频繁而降低其准确度或遭到损坏。

2. 计量标准

它是按国家规定的准确度等级,作为检定依据用的计量器具或物质。它的量值由工作基准传递而来。数字式仪表准确度较高,在检定模拟式仪表时常常用它作为标准。

3. 工作用计量器具

不用于检定工作,而只用于日常测量的计量器具称为工作用计量器具。工作用计量器具要定期用计量标准来检定,即由计量标准来评定它的计量性能(准确度、稳定性、灵敏度等)是否合格。

三、量值传递与量值溯源

量值传递与量值溯源并没有本质的区别,都是表示在测量仪器的性能指标与国家最高标准之间,通过一个紧密联系的比较链结合起来的联系。

它们的区别主要表现在如何操作上。量值溯源是强调自下而上寻求更高级的测量标准,直至国家和国际标准;而量值传递是强调从国家建立的基准自上而下的传递。量值溯源不按严格的等级,中间环节少;而量值传递有严格的等级,中间环节多,容易造成准确度损失。在我国,量值传递必须根据检定规程自上而下进行,只有属于非强检的测量器具才可就近送检。

四、标准元件

标准元件又称为度量器,是测量单位的分数或整数倍的复制实物。它是在日常测量时,尤其是精密测量时经常要使用的工作基准,因此要了解这些元件的性能、使用和维护方法。

1. 标准电池

标准电池是保存和传递直流电动势单位的标准元件。标准电池是一种化学电池,它是利用硫酸镉溶液和汞(或其他材料)电极的化学反应,产生量值在1.018 5~1.019 5 V之间的恒定电动势,其准确值标明在铭牌上。

有些型号的标准电池不能倒置或倾斜,携带或存放时应按说明书上的要求,注意其“向上”的方向。

标准电池不能过载。如果电流过大,标准电池极易损坏。因此,严禁用万用表或电压表直接测量标准电池的电动势。

我国的标准电池按其电动势的准确度和稳定程度分为若干等级。表1-1是标准电池的

